



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FRANKLLIN JOSÉ PERES DA SILVA

**ADIÇÃO DE DUAS VARIEDADES DE INHAME NA FABRICAÇÃO DE LEITE
FERMENTADO CAPRINO FUNCIONAL: ASPECTOS REOLÓGICOS**

JOÃO PESSOA – PB

2017

FRANKLLIN JOSÉ PERES DA SILVA

**ADIÇÃO DE DUAS VARIEDADES DE INHAME NA FABRICAÇÃO DE LEITE
FERMENTADO CAPRINO FUNCIONAL: ASPECTOS REOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Departamento de Tecnologia de Alimentos do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório à obtenção do título de Tecnólogo de Alimentos.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Haíssa Roberta Cardarelli

JOÃO PESSOA – PB

2017

S586a Silva, Franklin José Peres da.

Adição de duas variedades de inhame na fabricação de leite fermentado caprino funcional: aspectos reológicos. [recurso eletrônico] / Franklin José Peres da Silva. – 2017.

42 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Haíssa Roberta Cardarelli.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia de Alimentos) – CTDR/UFPB.

1. Leite caprino - Processamento. 2. Inhame. 3. Fermentação. I. Cardarelli, Haíssa Roberta. II. Título.

CDU: 637.138:633.496(043.2)

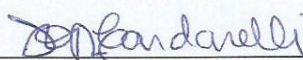
FRANKLLIN JOSÉ PERES DA SILVA

**ADIÇÃO DE DUAS VARIEDADES DE INHAME NA FABRICAÇÃO DE
LEITE FERMENTADO CAPRINO FUNCIONAL: ASPECTOS REOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Departamento de Tecnologia de Alimentos, do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito obrigatório à obtenção do título de Tecnólogo de Alimentos.

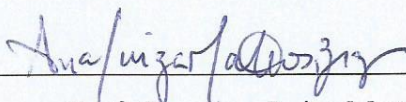
Aprovado pela banca examinadora em: 16/06/17

BANCA EXAMINADORA



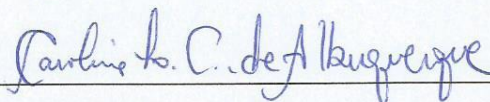
Profª Dra. Haíssa Roberta Cardarelli

Orientadora



Profª Dra. Ana Luiza Mattos Braga

Examinadora



Profª Dra. Carolina Lima Cavalcante de Albuquerque

Examinadora

Dedico esse trabalho primeiramente a
Deus e a todos que me ajudaram a
chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me proporcionado o dom da sabedoria e do aprendizado, e por estar sempre comigo em todas as horas.

A minha avó materna, que me criou e cuidou como filho.

A minha mãe por todo o apoio e carinho.

As minhas irmãs e sobrinhas pelos sorrisos sinceros.

A minha filha Nicolly, por me fazer descobrir o verdadeiro significado da vida e do amor.

A minha esposa Natália por todas as noites que passamos juntos elaborando esse trabalho, sempre ao meu lado e me apoiando em tudo na minha vida. Por acreditar, mesmo quando nem eu mesmo acreditava. Por não me deixar desistir e me fazer seguir em frente.

A professora Ana Luiza Braga, pela dedicação e esforço no nosso aprendizado.

Agradeço também a minha orientadora Haíssa Roberta, pois se não fosse sua base não teria chegado até aqui.

A todos os meus colegas da faculdade que compartilharam inúmeros momentos e experiências, em especial a João Bosco, que me ajudou inúmeras vezes durante o período de graduação.

A todos os técnicos de laboratório que me auxiliaram nas análises.

A todos os professores do DTA, pelo conhecimento transmitido ao longo do curso.

Foram momentos difíceis, turbulentos, até às vezes bem complicados de se passar, mas me mantive sempre de cabeça erguida, procurando o melhor caminho, orando a Deus para que guiasse meus passos, e hoje me encontro aqui, superando tudo isso.

*Vem, entrega-te, então, farei morada
em teu coração
E quando anoitecer cansado eu te
encontrar
No silêncio teu, eu irei te consolar
Nos braços meus descansarás
Forças te darei
Forças te darei*

Confia em mim – Vida Reluz

RESUMO

O leite de cabra pode trazer benefícios à saúde bem como a elaboração de seus derivados. Dentre eles o leite fermentado é um produto de fácil aceitação. Uma das grandes dificuldades tecnológicas enfrentadas para a fabricação de derivados fermentados caprinos é a consistência inadequada destes, pois há fragilidade no coágulo formado. Uma solução tecnológica encontrada é aumentar o teor de sólidos não gordurosos do leite. O uso do inhame para essa finalidade se deve ao fato de apresentar potencialidades tecnológicas por ser fonte de amido, além da grande oferta na região Nordeste; e sua associação ao leite fermentado caprino pode resultar em um novo produto. Assim, este trabalho visou testar a adição de duas variedades de inhame como alternativa de processamento para favorecer a consistência do leite fermentado caprino funcional e analisar os aspectos reológicos do produto. Foram testados dois tamanhos de cortes em paralelepípedos para o inhame a ser processado termicamente (98 °C / 20 min). Foram fabricadas duas formulações-teste contendo as diferentes variedades de inhame A e B (F1 e F2) na proporção de 1% m/v final de amido, e as formulações F3 e F4, sem adição e com adição de espessante comercial, respectivamente. Foram avaliadas a transferência de calor durante o processamento e a textura instrumental por compressão nas duas variedades de inhame. As formulações de leite fermentado foram analisadas reologicamente. Conforme os resultados obtidos, as duas variedades de inhame apresentaram características semelhantes de transferência de calor. Os resultados fornecidos pela análise de textura por compressão permitem concluir que a variedade de inhame B apresentou menor resistência à compressão, menores valores de elasticidade, sendo mais adequada para a adição em formulações de leite fermentado caprino. A análise reológica demonstrou que ocorreu um aumento no efeito da tixotropia e da viscosidade aparente nas duas formulações-teste (F1 e F2), o que comprova que a adição de inhame ao leite fermentado aumenta a consistência final do produto favoravelmente.

Palavras Chaves: leite de cabra; amido; fermentação.

ABSTRACT

Goat's milk can bring health benefits, as well as the elaboration of its dairy products. Among them, the fermented milk is a product of easy acceptance. One of the great technological difficulties faced for the manufacture of fermented goat products is the inadequate consistency of them, because there is fragility in the clot formed. One technological solution is to increase the content of non-fatty solids of the milk. The use of the yam for this purpose is due to the fact that it presents technological potential as a source of starch, in addition to its large supply in the Northeast region; and its association with fermented goat milk may result in a new product. Thus, this work aimed to test the addition of two varieties of yam as an alternative process to favor the consistency of functional fermented goat's milk and to analyze the rheological aspects of the product. Two sizes of parallelepiped cuts of yam were tested to be thermally processed (98 °C / 20 min). Two test formulations containing the different varieties of yams A and B (F1 and F2) in the proportion of 1% w / v final starch were fabricated, and the formulations F3 and F4, without and with addition of commercial thickener, respectively. The heat transfer during the processing and the instrumental texture by compression in the two varieties of yam were evaluated. Fermented milk formulations were analyzed rheologically. According to the results obtained, the two varieties of yams presented similar characteristics of heat transfer. The results provided by the analysis of texture by compression allow to conclude that the variety of yam B presented lower resistance to compression, lower elasticity, being more suitable for the addition in formulations of goat fermented milk. The rheological analysis showed that there was an increase in the thixotropic effect and apparent viscosity in the two test formulations (F1 and F2), which proves that the addition of yam to the fermented milk increases the final consistency of the product favorably.

Key Words: goat milk; starch; fermentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curvas características de comportamento reológico de fluidos.....	18
Figura 2 – Fluxograma do processamento do inhame.....	22
Figura 3 – Fluxograma do processamento das formulações de leite fermentado caprino.....	25
Figura 4 – Curvas de aquecimento das amostras da variedade do inhame A durante processamento térmico dos tamanhos pequeno (Ap) e grande (Ag).....	28
Figura 5 – Curvas de aquecimento das amostras da variedade do inhame B durante processamento térmico dos tamanhos pequeno (Bp) e grande (Bg).....	29
Figura 6 – Resultados da tensão de ruptura (kPa) versus deformação de ruptura do inhame A nos tamanhos pequeno (Ap) e grande (Ag).....	30
Figura 7 – Resultados da tensão de ruptura (kPa) versus deformação de ruptura do inhame B nos tamanhos pequeno (Bp) e grande (Bg).....	30
Figura 8 – Resultados de tixotropia pela diferença da área das curvas ascendentes e descendentes das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4).....	32
Figura 9 – Curva de viscosidade aparente (m.Pa.s) versus a taxa de deformação (1/s) das formulações de leite fermentado caprino sem adições (F3), com adição de espessante (F4), com adição do inhame A (F1) e com adição do inhame B (F2).....	34
Figura 10 – Taxas de escoamento.....	35
Figura 11 – Resultados tensão (Pa) versus a taxa de deformação (1/s) das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4).....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos reológicos.....	19
Tabela 2 – Valores médios de acidez titulável (% v/v)±desvio padrão (n=3), pH e teor de amido (% m/v) das variedades de inhame após processamento.....	27
Tabela 3 – Propriedades mecânicas das variedades de inhame A nos tamanhos pequeno (Ap) e grande (Ag) e inhame B nos tamanhos pequeno (Bp) e grande (Bg).....	31
Tabela 4 – Valores de tixotropia observados no gráfico de tensão (Pa) por Taxa de deformação (1/s) das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4) e a porcentagem proporcional em comparação com a formulação padrão (F3).....	32
Tabela 5 – Valores dos parâmetros reológicos das amostras de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4) no modelo reológico de Oswald de Weale (Lei da Potência).....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1. LEITE DE CABRA.....	14
2.1.1. Definição.....	14
2.1.2. Características do leite de cabra.....	14
2.2. LEITE FERMENTADO.....	15
2.3. INHAME.....	16
2.4. REOLOGIA.....	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1. LOCAIS DE EXECUÇÃO.....	21
3.2. MATÉRIAS-PRIMAS.....	21
3.3. PROCESSAMENTO DO INHAME.....	21
3.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E FÍSICAS DO INHAME.....	23
3.4.1. Determinação do pH do inhame.....	23
3.4.2. Determinação da acidez titulável do inhame.....	23
3.4.3. Determinação do teor de amido do inhame.....	23
3.4.4. Análise de textura do inhame.....	24
3.5. PROCESSAMENTO DAS FORMULAÇÕES DE LEITE FERMENTADO CAPRINO.....	24
3.6. ANÁLISE REOLÓGICA DAS FORMULAÇÕES DE LEITE FERMENTADO.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1. RESULTADOS DE ACIDEZ TITULÁVEL, PH E TEOR DE AMIDO DAS VARIEDADES DE INHAME APÓS PROCESSAMENTO.....	27
4.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR DURANTE PROCESSAMENTO DAS VARIEDADES DE INHAME.....	27
4.3. TEXTURA INSTRUMENTAL.....	29
4.4. REOLOGIA DAS FORMULAÇÕES DE LEITE FERMENTADO.....	31
5. CONCLUSÕES.....	36
5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

O leite é considerado um dos alimentos mais completos que existem devido às substâncias que contém no mesmo serem de fundamental importância para a nutrição humana (FAO, 2011). O leite de cabra é hipoalergênico, possui alta digestibilidade se for comparado ao leite de vaca e por isso vêm ganhando cada vez mais mercado (PANDYA; GHODKE, 2007; PARK, 1994; PARK et al., 2007), sendo mais consumido por alérgicos ao leite bovino e para a alimentação de crianças e idosos.

Dentre os estados brasileiros, a Paraíba desponta com um rebanho caprino leiteiro significativo e um dos maiores produtores de leite de cabra do país, produzindo através de associações de produtores principalmente na região do Cariri (SILVA et al., 2013).

Ainda dentro desta vertente, sabe-se que a partir do leite pode se produzir vários produtos agroalimentares, cujos processos são relativamente simples e de baixo custo, como queijos, iogurtes e bebidas lácteas. A fabricação destes produtos poderia ser alternativa viável para os caprinocultores agregarem valor à produção (SANTOS et al., 2011).

Os leites fermentados vêm sendo explorados pelas indústrias de laticínios por estarem relacionados à saúde e pelo grande potencial de desenvolvimento de novos produtos, pois as características da matriz láctea possibilitam a efetiva funcionalidade das culturas probióticas e dos ingredientes prebióticos ao produto, pela facilidade de consumo destes produtos e pela ligação dos consumidores com os aspectos saudáveis destes (COSTA et al., 2013).

Os leites fermentados elaborados com leite de cabra agregam as características nutricionais e tecnológicas do leite caprino. Mas quando se pensa em produtos fermentados de origem caprina, uma das grandes dificuldades tecnológicas enfrentadas atualmente é justamente a consistência destes, pois a fragilidade do coágulo formado neste tipo de produto é comprovada por alguns autores (EISSA et al., 2010; MARTINDIANA et al., 2003; TAMIME et al., 2011; VARGAS et al., 2008), devido a sua composição físico-química. Isto reflete diretamente nas características sensoriais deste produto e na sua aceitação para consumo. Uma solução tecnológica encontrada para obtenção de uma consistência mais satisfatória nas bebidas fermentadas de origem caprina é aumentar o teor de sólidos não gordurosos ao leite (CENACHI, 2012; RIBEIRO, 2014).

Dentre os vegetais que apresentam composição química interessante, e que ao mesmo tempo é bastante produzido e comercializado no estado da Paraíba, tem-se o inhame.

O inhame é rico em carboidratos, apresenta em sua composição aminoácidos essenciais, minerais (cloro, silício, fósforo, alumínio, ferro, manganês, potássio e sódio), além de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), niacina (vitamina B5), vitamina A e ácido ascórbico (vitamina C) (MOLLICA, 2011). O inhame também produz metabólitos secundários bioativos, como diosgenina, alantoína e dioscorina que são considerados importantes por oferecerem efeitos farmacológicos (HATA et al., 2003; YANG et al., 2003). Segundo vários estudos, estes apresentam atividades anti-inflamatórias e imunomoduladoras distintas (LIN, 2006; LIN e YANG, 2008; HUANG et al., 2010). Porém, poucos estudos foram realizados até o momento com o objetivo de avaliar os seus benefícios funcionais (JAN et al., 2007) e tecnológicos.

Segundo Lima (2002) o inhame apresenta diversas potencialidades de industrialização que podem ser exploradas, pois a partir deste, podem ser desenvolvidos produtos pré-processados; produtos em conserva; produtos assados ou forneados; produtos desidratados como amido, goma, farinhas (inclusive de rosca), grânulos e flocos; alimentos nutracêuticos; produtos fermentados; produtos panificáveis; produtos gelados e de sorveteria.

As mucilagens também fazem parte da composição das fibras que se encontram presentes, na sua maior parte, nos cereais integrais, nos legumes e leguminosas, nas verduras e nas frutas. Quando combinadas aos glicosídeos, as mucilagens são usadas pela indústria alimentar para formar géis, o que possibilita espessar e modificar a textura dos alimentos (HOU et al., 2002). Inhame vem sendo testado devido às suas propriedades espessantes em iogurtes e iogurte de soja (Manzano, 2007; Kim et al. 2011; Fernandes et al. 2014).

Diante do exposto, considera-se que o desenvolvimento de tecnologias de processamento para o leite de cabra produzido no estado da Paraíba pode trazer benefícios significativos para o desenvolvimento da caprinocultura leiteira na região. Ademais, o leite fermentado é um produto valorizado mundialmente e este projeto permitiu o desenvolvimento de um leite fermentado contendo inhame, associando as propriedades desse vegetal e favorecendo aspectos tecnológicos e nutricionais do produto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Selecionar a melhor variedade de inhame para adição na fabricação leite fermentado caprino como alternativa de processamento para promover aumento na viscosidade deste tipo de produto.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Analisar a transferência de calor durante o processamento para avaliar o melhor tamanho de corte e tempo de processamento entre as variedades de inhame;
- b) Avaliar as duas variedades de inhame após o processamento para a escolha daquela que demonstrar menor resistência à compressão;
- c) Avaliar os parâmetros reológicos do fluido leite fermentado caprino adicionado de inhame e seus efeitos quanto à tensão e viscosidade aparente em função da deformação e presença de tixotropia;
- d) Comparar todos os resultados nas formulações-teste com uma formulação de leite fermentado adicionado de estabilizante/espessante comercial e outra sem adição desses ingredientes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. LEITE DE CABRA

2.1.1. Definição

O leite de cabra é definido na legislação brasileira como o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de animais da espécie caprina sadios, bem alimentados e descansados (BRASIL, 2007).

2.1.2. Características do leite de cabra

O leite de cabra apresenta qualidades que o tornam superior ao leite bovino com relação a propriedades nutricionais e terapêuticas, como exemplos, melhor digestibilidade, alcalinidade, teor de proteínas de alto valor nutritivo, hipoalergenicidade, entre outros, que são motivos de consumo por grupos especiais como alérgicos ao leite de vaca, idosos e crianças. Outro fator marcante está relacionado às características sensoriais, especialmente o sabor e aroma típicos, que são responsáveis pela aceitação ou rejeição dos produtos por parte dos consumidores. Essas opiniões são descritas e compartilhadas por vários autores (PARK; HAENLEIN, 2006; PARK et al. 2007; RIBEIRO; RIBEIRO, 2010).

A proteína do leite caprino apresenta alto valor biológico, sendo fonte de aminoácidos essenciais, possuindo maiores concentrações de treonina, isoleucina, lisina, cisteína, tirosina e valina quando comparado ao leite de vaca (CEBALLOS et al., 2009; HAENLEIN, 2004; PARK et al., 2007).

O reconhecimento mundial das propriedades nutricionais e funcionais do leite de cabra por médicos, pesquisadores e consumidores em geral, é unânime, o que permite a esse alimento a validação funcional (ROCHA, 2007).

Nas últimas décadas, mais de 95% dos produtos lácteos consumidos nos países desenvolvidos foram derivados de leite de vaca, exceto para os países do Mediterrâneo, onde os lácteos caprinos formam uma parte da herança cultural (MICHAELIDOU, 2008).

Os lácteos caprinos são destinados a um nicho de mercado restrito, porém sua produção e consumo tendem a aumentar devido ao desenvolvimento da agricultura

familiar, principal produtora do leite; ao interesse dos profissionais do *gourmet* por queijos finos e iogurte e pela recomendação médica desse leite aos indivíduos intolerantes ao leite bovino (HAENLEIN, 2004).

O mercado nacional de leite de cabra ainda está em desenvolvimento e ultimamente tem crescido devido à demanda dos consumidores dos centros urbanos e da inserção do leite na merenda escolar, especialmente do Nordeste (MARTINS et al., 2007). Nesta região a produção de leite de cabra representa uma importante atividade econômica praticada por pequenos e médios produtores, e alguns órgãos do governo têm realizado programas de melhoria tecnológica da indústria (BELTRÃO et al., 2008); porém, ainda assim, a produção apresenta baixos níveis de desempenho. Os derivados de leite de cabra podem ser produzidos com qualidade e baixo custo desde que haja incentivo e pesquisa de novas alternativas (DUBEUF, 2005).

2. 2. LEITE FERMENTADO

A Instrução Normativa nº 46 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2007) que trata do Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados, define leites fermentados como “os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de micro-organismos específicos. Estes micro-organismos específicos devem ser viáveis, ativos e abundantes no produto final durante seu prazo de validade”.

O leite fermentado é um alimento lácteo conhecido desde os primórdios da civilização, sendo classificado como o mais antigo derivado. Algumas referências sobre esse alimento são encontradas na bíblia: Abraão acreditava que sua longevidade estava relacionada ao consumo de leite fermentado. Moises considerava o leite fermentado um presente de Deus, assim como o mel e o vinho. Cientistas conhecidos como Hipócrates, consideravam o leite fermentado não apenas um alimento, mas também um remédio, prescrevendo-o no tratamento de distúrbios estomacais e intestinais. Na França, o leite fermentado foi relacionado à cura de infecções intestinais e considerado um fator de auxílio na digestão (SACCARO, 2008).

A indústria láctea destaca-se dentre as indústrias de produtos de origem animal como a que apresenta maior diversidade entre o seus produtos derivados, no entanto

observa-se uma carência de novos produtos neste setor econômico quando a matriz utilizada é o leite caprino. O leite de cabra pode ser consumido fluido ou transformado em queijos finos, leite em pó, manteiga, ricota, doce de leite, leites fermentados, além de outros produtos. O processo tecnológico transforma o leite de cabra, podendo aumentar a variedade os derivados lácteos produzidos a partir deste produto, visando atingir as necessidades do consumidor o qual está cada vez mais informado, exigente e voltado ao consumo de produtos com alto valor nutricional (AMARAL; AMARAL; MOURA NETO, 2011).

Os leites fermentados possuem muitos benefícios, pois contêm micro-organismos benéficos, capazes de resistir à acidez do estômago chegando vivos no intestino, onde conseguem repovoar e regular a microbiota do trato digestório. Alguns benefícios incluem a diminuição de infecções intestinais e diarreias; a prevenção de tumores no intestino; a diminuição dos níveis de colesterol e a melhor digestão da lactose (GILLILAND, 1989; HATTINGH E VILJOEN, 2001). Contribuem também para a prevenção de hipersensibilidade alimentar, alergias alimentares, dermatites, candidíase vaginal e infecções do sistema genital e urinário (Ouwehand e Salminen, 1998).

Derivado lácteo de complexa reologia, o leite fermentado depende da temperatura de fabricação, da concentração de sólidos e do estado físico das gorduras e proteínas para determinar suas propriedades reológicas que interferem diretamente em sua textura e estabilidade (HASSAN, 1996).

2.3. INHAME

O inhame (*Dioscorea* sp.) é uma amilácea bastante cultivada, sendo produzido há mais de 2000 anos em regiões de clima tropical e subtropical. No mundo a área cultivada é de mais de um milhão de hectares, entretanto, no Brasil o inhame é uma cultura de pequenos produtores, utilizada no consumo direto (LEONEL, CEREDA, 2002). O inhame alcança no Nordeste, especialmente nos estados maiores produtores, como Pernambuco e Paraíba, grande importância socioeconômica, uma vez que é uma hortaliça produtora de rizomas alimentícios com alto valor energético e nutritivo e elevado teor de amido (OLIVEIRA, NETO, SANTOS, 2002).

O desenvolvimento de produtos alimentícios tendo como base raízes tropicais, de tradição de cultivo e apelo cultural como o inhame, tem obtido o interesse dos

produtores rurais e industriais, pois possibilita o incremento de toda a cadeia produtiva (CRIVELARO, 2009).

Economicamente o inhame é um alimento barato, apresentando elevado rendimento por unidade de área plantada. Características de rusticidade edafoclimáticas, resistência a pragas e doenças, alta produtividade e fácil conservação pós-colheita favorecem o seu cultivo em áreas inaproveitáveis pela agricultura tradicional (HEREDIA, BURBA, CASALI, 1983; ZARATE, CASALI, ALVAREZ, 1988).

Segundo Lima (2002), os produtos de panificação, confeitaria, pastelaria, produtos gelados e de sorveteria assim como os produtos empanados pré-prontos congelados, têm suas características melhoradas pelo emprego das farinhas de inhame, que servem como ingredientes funcionais, por conter a proteína, a goma ou mucilagem do inhame. Porém, as farinhas não pré-cozidas ou cruas, apesar de serem as mais fáceis de serem elaboradas (a partir de chips, tiras e aparas do tubérculo), não mostram grandes potencialidades de industrialização, enquanto não for resolvido o problema da adstringência das túberas. Essas farinhas apresentam uma proporção de partículas muito finas, que se suspendem no ar, aumentando as possibilidades de irritação da pele e de problemas respiratórios.

O valor do inhame, como matéria-prima alimentícia, foi atribuído às características de fácil digestibilidade dos grânulos de amido, alto valor energético, alto conteúdo de vitamina B, teores elevados de cálcio, fósforo e ferro, além da alcalinidade das cinzas e da não alergenicidade (SIVIERO, 1984).

2.4. REOLOGIA

O termo reologia foi criado como derivação do termo grego “rheos” que significa fluir (EGAWA, 2007). A reologia pode ser definida como a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria (GUNASEKARAN; MEHAMET, 2003).

De acordo com Castro (2007), a reologia tem por finalidade analisar a força necessária para causar uma deformação ou escoamento em um corpo ou analisar a deformação ou o escoamento resultante da aplicação de um dado sistema de forças em um corpo, que podem ser compressão, tração ou cisalhamento.

A reologia abrange diferentes propriedades associadas à deformação da matéria. Na reologia de sólidos, a propriedade de maior interesse é a elasticidade, nos líquidos a

principal é a viscosidade, que consiste na capacidade de um líquido resistir ao fluxo induzido pela tensão aplicada (cisalhamento) (VRIESMANN, 2008).

A viscosidade do fluido é uma propriedade medida indiretamente, logo a força, o torque e a rotação a que o fluido está submetido é que fornecem o valor da viscosidade e esta pode ser determinada através de equipamentos conhecidos como viscosímetros ou reômetros (VRIESMANN, 2008).

Os fluidos estão classificados de acordo com o seu comportamento em newtonianos e não-newtonianos. Sendo os newtonianos caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido (SCHUMACHER, 2009).

A Equação 1 descreve matematicamente a viscosidade dos fluidos newtonianos:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1)$$

Onde: μ = viscosidade absoluta (Pa.s); τ = tensão de cisalhamento (Pa); e γ = taxa de cisalhamento (s⁻¹).

O fluido newtoniano é o fluido cuja viscosidade é constante quando a temperatura é constante (HAMINIUK, 2007). Já fluidos não newtonianos tem uma viscosidade que pode variar com a mudança da taxa de cisalhamento ou a tensão de cisalhamento para as diversas formas de fluidos (CASTRO, 2007).

Para fluidos não-newtonianos o termo viscosidade (μ) é substituído por viscosidade aparente (η_{ap}). Estes comportamentos podem ser melhores entendidos observando-se a Figura 1.

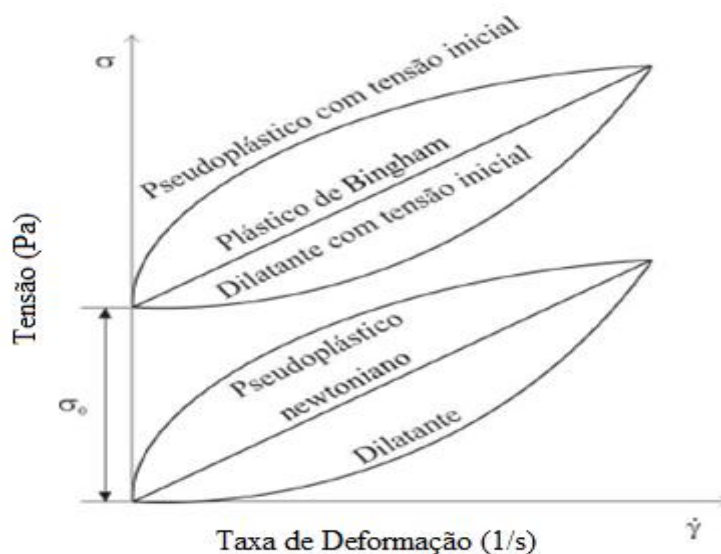


Figura 1 - Curvas características de comportamento reológico de fluidos.

Para os fluidos newtonianos a relação existente entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento resulta numa constante, isto é, tem-se que a viscosidade é constante. O mesmo não se pode afirmar para os fluidos não-newtonianos.

A curva referente ao fluido pseudoplástico tem-se que a viscosidade aparente diminui com a taxa de cisalhamento e o índice de comportamento (n) está entre zero e um ($0 < n < 1$). Emulsões, suspensões e dispersões são exemplos (HAMINIUK, 2005).

Por outro lado, no fenómeno caracterizado pela dilatância onde ($n > 1$), a viscosidade aumenta com a taxa de cisalhamento. Mel e suspensões de amido são dois exemplos (STEFFE, 1996).

Os fluidos não-newtonianos podem ser classificados em dois grupos, segundo Egawa (2007):

a. independentes do tempo - os fluidos dilatantes, pseudoplásticos, plásticos e plásticos de Bingham. De acordo com McClements (2007), o fluido de Bingham se comporta como sólido em condições estáticas. Deve ser aplicada uma tensão inicial antes que o fluxo seja induzido. Alguns exemplos são: molhos de tomate, maionese, clara de ovo batida e margarina (HAMINIUK, 2005).

b. dependentes do tempo - dividem-se em dois grupos: tixotrópicos e reopéticos. Segundo Viana (2010) a tixotropia ocorre quando o valor da viscosidade diminui com o aumento da concentração, e é caracterizada como uma consequência da agregação das partículas em suspensão, onde a interação entre partículas é um resultado da atração pela ação de forças de van der Waals, bem como de repulsão resultante a efeitos eletrostáticos e estéricos.

A Tabela 1 apresenta os modelos reológicos mais utilizados para fluidos pseudoplásticos.

Tabela 1. Modelos reológicos

Modelo	Viscosidade	Tensão
Bingham	$\eta = \eta_p + \tau_0/\gamma$	$\tau = \tau_0 + \eta_p \gamma$
Casson	$\eta = \sqrt[n]{(\tau_0/\gamma)^n + (\eta_p)^n}$	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + K(\gamma)^{0.5}$
Oswald de Weale / Lei da Potência	$\eta = K\gamma^{n-1}$	$\tau = K\gamma^n$
Herschel-Bulkley	$\eta = \tau_0/\gamma + K\gamma^{n-1}$	$\tau = \tau_0 + K\gamma^n$
Weltman	-	$\tau = A - B \log(t)$
Arrhenius	$\eta = ke^{\frac{E}{RT}}$	-

Onde: η = viscosidade (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento (adimensional); τ = tensão de cisalhamento (Pa); γ = taxa de deformação (s⁻¹); η_p = viscosidade plástica; τ_0 = limite de escoamento; A = parametro reológico semelhante a B ; B = parametro reológico que mede a taxa de queda da estrutura; t = tempo; k = parametro de ajuste; E = energia de ativação para viscosidade (J/mol); R = constante universal dos gases (1,987 cal/mol.K); T = temperatura absoluta (K).

Fonte: (MATHIAS et. al, 2013).

Haminiuk (2007) cita que os modelos reológicos mais comumente utilizados são os modelos Lei da Potência (Ostwald-De-Walle), Casson e Bingham de dois parâmetros e Herschel-Bulkley de três parâmetros, pois a maioria dos fluidos alimentícios exibe comportamento pseudoplástico podendo ser descrito pelo modelo da Lei da Potência.

$$\tau = K\gamma^n \quad (2)$$

ou

$$\log_{10}\tau = \log_{10}K + \log_{10}\gamma \quad (3)$$

onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), γ é a taxa de deformação (s⁻¹), K é o coeficiente de consistência (Pa.s) e n é o índice de comportamento (adimensional), (Haminiuk *et al.*, 2006).

Ao dividir-se a equação 2 pela equação 3, tem-se que:

$$\eta_{ap} = \frac{K}{\gamma} + n \quad (4)$$

Onde η_{ap} é a viscosidade aparente.

A equação 4 governa a viscosidade aparente dos fluidos pseudoplásticos, onde a mesma diminui à medida que aumenta a taxa de cisalhamento.

A escolha do modelo matemático que melhor se adapte ao estudo e gere resultados desejados é fundamental, pois o modelo matemático reológico conseguirá tornar os parâmetros reológicos em expressões mensuráveis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. LOCAIS DE EXECUÇÃO

O processamento da matéria-prima inhame a ser adicionada nas formulações de leite fermentado bem como a fabricação dos leites fermentados foi conduzido no Laboratório de Processamento de Carnes e Pescado.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-químicas.

As análises de textura da matéria-prima e reológicas do leite fermentado foram realizadas no laboratório de Processamento de Alimentos.

Todos os laboratórios são pertencentes ao Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional-CTDR/UFPB.

3.2. MATÉRIAS-PRIMAS

Para a elaboração do iogurte foram necessárias as seguintes matérias-primas: leite de cabra, inhame de duas variedades (*D. cayenensis* que será chamado de inhame A e *D. alata* que será chamado de inhame B), sacarose (Alegre, Mamanguape-PB), cultura láctica termofílica probiótica contendo os micro-organismos *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* liofilizada (Lyofast SAB 440 A, Sacco Brasil, Campinas, SP), que foi previamente diluída em leite esterilizado (5g em 1l) e mantida congelada até o momento de uso. Todas as matérias-primas foram obtidas comercialmente.

3.3. PROCESSAMENTO DO INHAME

O processamento dos tubérculos seguiu o fluxograma descrito na Figura 2.

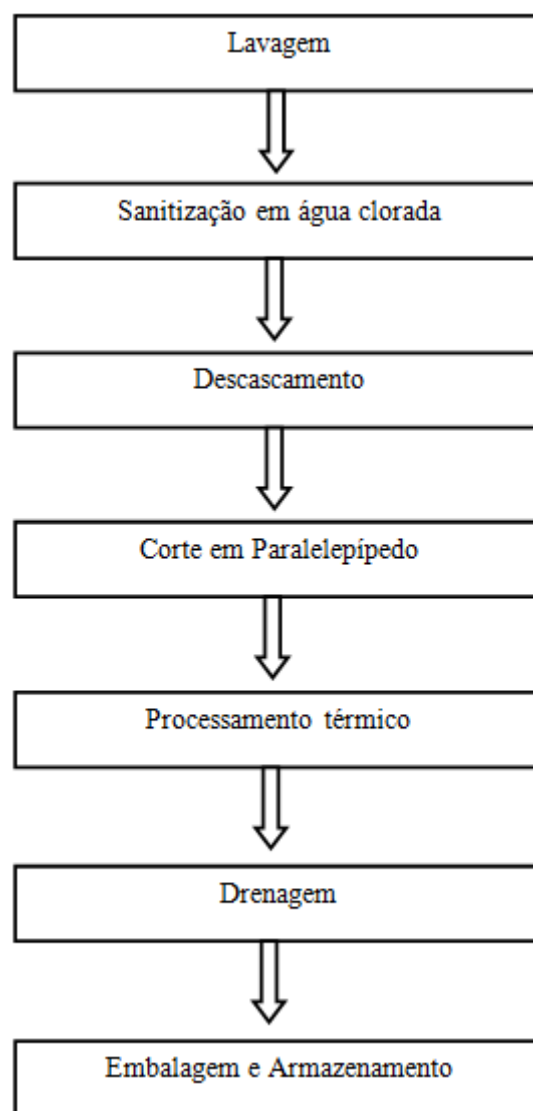


Figura 2 – Fluxograma do processamento do inhame

As amostras de inhame foram cortadas em paralelepípedos de 2,6 x 2,7 x 1,75 cm que foram identificados como inhame A pequeno (Ap) e inhame B pequeno (Bp) e 2,8 x 3,8 x 2,75 cm que serão identificados como inhame A grande (Ag) e inhame B grande (Bg) e massa de aproximadamente 16g e 20g. Foram colocadas em água com temperatura de 98°C e sua temperatura foi aferida a cada 2 minutos através do uso de um termômetro (Digital Thermometer, modelo WT-1) inserido no centro da amostra durante 20 minutos de processamento.

As amostras foram imediatamente retiradas da água e colocadas para que o excesso de água fosse drenado em papel toalha por 10 minutos. Em seguida foram embaladas em potes plásticos e armazenadas sob refrigeração ($4\pm3^{\circ}\text{C}$) até o momento do uso.

3.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E FÍSICAS DO INHAME

3.4.1. Determinação do pH do inhame

As amostras de inhame foram maceradas com auxílio de um garfo e pesados 5 g em frasco tipo Erlenmeyer e adicionados 40 ml de água destilada, em seguida homogeneizados através de agitação manual, para a determinação do pH através de leitura direta em potenciômetro de marca INSTRUTHERM, modelo pH-1900, calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, conforme AOAC (2005). As análises foram realizadas em triplicata para cada variedade de inhame.

3.4.2. Determinação da acidez titulável do inhame

Foram pesados 5g de amostra em um frasco tipo Erlenmyer e adicionados 40 ml de água destilada, em seguida homogeneizados. A acidez foi realizada por titulometria com NaOH (Dinâmica, Brasil) à 0,1 N, segundo Brasil (2007) e expressa em ácido cítrico (g/100g). As análises foram realizadas em triplicata para cada variedade de inhame.

3.4.3. Determinação do teor de amido do inhame

Foram pesados 5g de amostra previamente homogeneizada em um frasco tipo Erlenmeyer com capacidade para 100ml. A amostra foi desengordurada com porções de 20 ml de éter (Neon, São Paulo, Brasil), por agitação seguida de descarte, por três vezes, sucessivamente. A amostra desengordurada foi transferida para outro frasco tipo Erlenmeyer com capacidade para 500 ml, com o auxílio de 100 ml de etanol (Labsynth, Diadema-SP, Brasil) a 70% v/v. Agitou-se e aqueceu-se em banho-maria a 85°C, por 1 hora, empregando um pequeno funil no gargalo do frasco para a condensação dos vapores. Resfriou-se e foram adicionados 50 ml de etanol (Labsynth, Diadema-SP, Brasil) a 95% v/v. Filtrou-se a vácuo utilizando um kitassato e funil de Buchner com papel de filtro (Unifil, Brasil). O resíduo no filtro foi lavado com 250 ml de etanol (Labsynth, Diadema-SP, Brasil) a 70% v/v e o conteúdo foi transferido para outro frasco tipo Erlenmeyer com capacidade para 500 ml com o auxílio de 150 ml de água. Foram adicionadas cinco gotas de hidróxido de sódio (Dinâmica, Brasil) a 10% m/v e

aqueceu-se em autoclave com pressão de 1 atm durante 1 hora. Resfriou-se, foram adicionados 5 ml de ácido clorídrico (*Labsynth*, Diadema-SP, Brasil) (fortemente ácido) e aqueceu-se com pressão de 1 atm durante 30 minutos em autoclave. Resfriou-se e neutralizou-se com solução de hidróxido de sódio (Dinâmica, Brasil) a 10% m/v. Filtrou-se a vácuo e transferiu-se para um balão volumétrico de 250 ml, completando-se o volume com água. Determinaram-se os glicídios redutores nessa solução por titulação pelo método de Fehling (IAL, 2008).

3.4.4. Análise de textura do inhame

Para a determinação de textura foi utilizado o texturômetro CT3 25K da Brookfield (Estados Unidos da América). Os ensaios foram realizados com sonda de geometria cilíndrica com 2 cm de diâmetro (modelo TA25/1000), lubrificada com vaselina sólida (ADV, Brasil) para evitar o atrito com a amostra, avaliando-se a textura relacionada à compressão com os seguintes parâmetros: distância da sonda (modelo TA25/1000) de 2 cm, velocidade de pré-teste 3mm/s, velocidade de teste e de pós-teste de 1mm/s.

3.5. PROCESSAMENTO DAS FORMULAÇÕES DE LEITE FERMENTADO CAPRINO

Foram fabricadas quatro formulações de leite fermentado, duas contendo inhame de variedades diferentes, inhame A (F1) e inhame B (F2) com concentração de aproximadamente 11,3% e 9,2 % m/v, respectivamente. Duas amostras controle foram fabricadas, uma sem adição de qualquer tipo de espessante (F3) e outra (F4) contendo 0,25 % m/v do espessante Amidogem Line (Tale&Lyne Germacon Tech – Juiz de Fora/MG). Foi utilizado leite caprino previamente pasteurizado a 65°C durante 30 minutos, obtido diretamente com o produtor, e 10 % m/v de açúcar Cristal (Alegre – Mamanguape/PB).

O processo tecnológico adotado para elaboração do leite fermentado caprino seguiu o fluxograma apresentado na Figura 3.

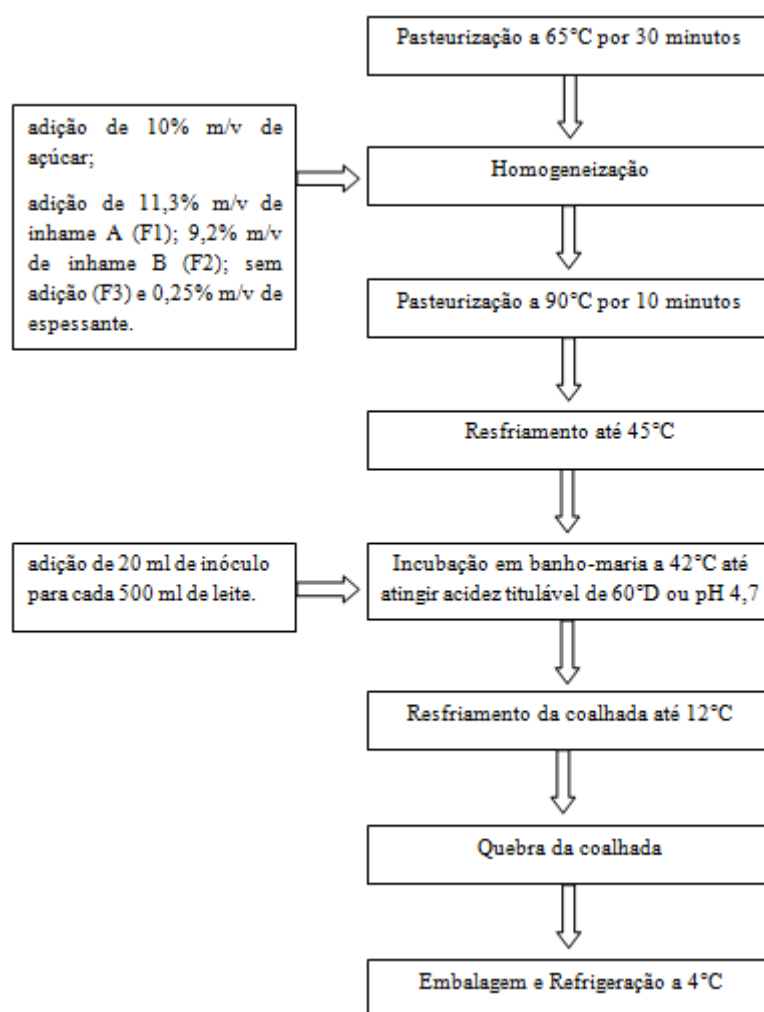


Figura 3 – Fluxograma do processamento das formulações de leite fermentado caprino.

O leite de cabra foi inicialmente pasteurizado a 65°C durante 30 minutos. Em seguida foram adicionados 10% de açúcar (Alegre, Mamanguape-Pb, Brasil) e de 11,3% m/v do inhame A (F1); 9,2% m/v do inhame B (F2); sem adições (F3); e 0,25% m/v do espessante Amidogem Line (Tale&Lyne Germacon Tech – Juiz de Fora/MG). Em seguida foram homogeneizados em um liquidificador (Walita, Brasil) por 20 segundos. As formulações foram pasteurizadas a 90°C durante 10 minutos e em seguida resfriadas em banho de gelo até atingirem a temperatura de 45°C. Foram adicionados 20 ml de inóculo e as formulações foram colocadas em banho-maria em temperatura de 42°C para incubação até que se atingisse acidez titulável de 60°D ou pH 4,7. A coalhada foi resfriada até temperatura de 12° C e quebrada com auxílio de um bastão de vidro. Em seguida foram embaladas em garrafas plásticas de 200 ml e resfriadas a 4±3°C.

3.6. ANÁLISE REOLÓGICA DAS FORMULAÇÕES DE LEITE FERMENTADO

Os parâmetros reológicos foram obtidos para amostras mantidas na temperatura de 10°C, empregando um Reômetro de cilindro concêntrico (Rotor CC25 DIN Ti), modelo Haak Mars III (marca Thermo Fisher Scientific, EUA). O Reômetro possui uma camisa termostatzada situada ao redor do arranjo do cilindro, em cujo interior circula água para aquecimento ou resfriamento, permitindo um melhor controle da temperatura.

O aumento da tensão de cisalhamento foi obtido pelo aumento da rotação, a partir da variação contínua da velocidade angular do cilindro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. RESULTADOS DE ACIDEZ TITULÁVEL, PH E TEOR DE AMIDO DAS VARIEDADES DE INHAME APÓS PROCESSAMENTO.

Os resultados das análises estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de acidez titulável (% v/v)±desvio padrão (n=3), pH e teor de amido (% m/v) das variedades de inhame após processamento.

Análise	Inhame B	Inhame A
pH	6,01±0,09	6,33±0,09
acidez titulável	0,97±0,01	1,41±0,01
teor de amido	10,84±0,12	8,78±0,97

Observaram-se variações no teor de amido entre os tipos de inhames empregados e tal conhecimento é importante para que as formulações do leite fermentado sejam fabricadas com as quantidades padronizadas das matérias-primas.

Os valores de pH e acidez titulável das variedades de inhames são importantes também para que não interfiram na fermentação, visto que as cepas microbianas tem atividade ideal em leite com pH próximo de 6,5.

Assim, calculou-se a quantidade de amido incorporado no leite fermentado de forma a não ultrapassar o valor máximo de 1% m/v, respeitando limites de adição de amido conforme a legislação para leites fermentados vigente. Ademais, grandes quantidades poderiam resultar em efeito contrário na consistência do leite fermentado.

4.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR DURANTE PROCESSAMENTO DAS VARIEDADES DE INHAME

A condução de energia cinética dentro de uma substância ou entre substâncias ocorre pelo contato direto. O calor se propaga das temperaturas mais altas para as mais baixas. A capacidade que cada substância tem de condução de calor pode variar com a organização da estrutura celular e molecular ou com as características físico-químicas.

Observando as Figuras 4 e 5, é possível perceber que a temperatura no centro geométrico das amostras das duas variedades de inhame foi muito semelhante, tendo

atingido nas amostras menores a temperatura máxima de $98,7^{\circ}\text{C} \pm 0,57$ para o inhame Bp; $95,4^{\circ}\text{C} \pm 0,52$ para o inhame Bg; $98,6^{\circ}\text{C} \pm 1,23$ para o inhame Ap; e $94,4^{\circ}\text{C} \pm 1,35$ para o inhame Ag. Assim, a escolha da variedade de inhame não irá interferir no tempo de preparo da matéria-prima, pois a capacidade de condução de energia das estruturas internas das amostras são semelhantes.

Tomando uma única variedade como exemplo, é possível observar ainda que ocorreu uma ligeira diferenciação de valores das temperaturas máximas alcançadas entre as amostras de mesma variedade, mas com tamanhos distintos. Essa diferença de temperatura mais alta no centro das amostras é devido a estes estarem mais próximos da fonte emissora de calor.

As figuras mostram que a partir do 12º minuto em todas as variedades, não ocorreu mudanças nas temperaturas, no entanto, as amostras de menores tamanho alcançaram a temperatura máxima em menor espaço de tempo, o que mostra que o tamanho escolhido para a amostra influenciará no tempo de preparo.

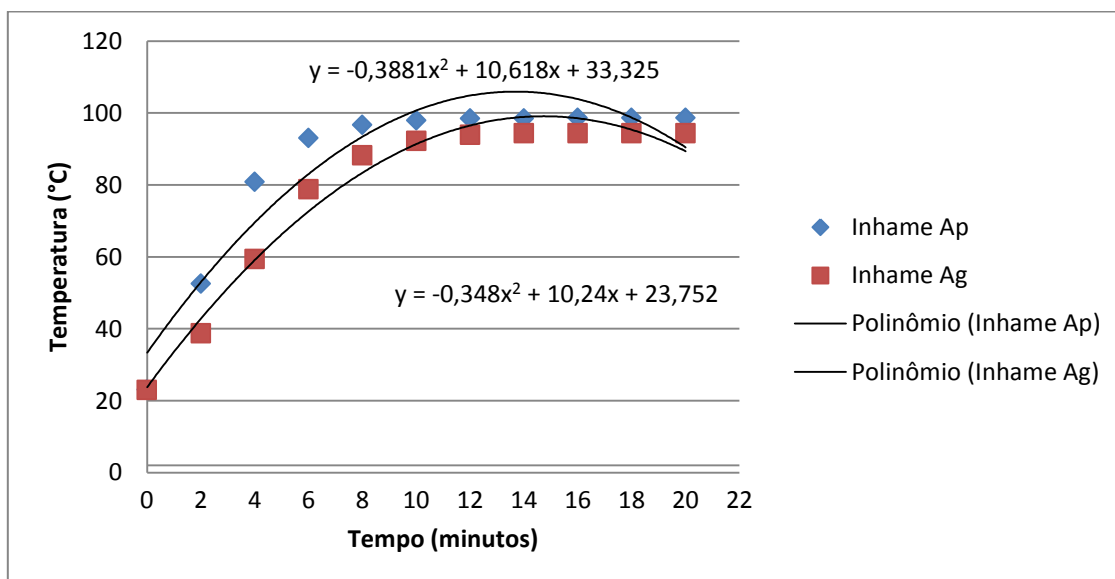


Figura 4 – Curvas de aquecimento das amostras da variedade do inhame A durante processamento térmico dos tamanhos pequeno (Ap) e grande (Ag).

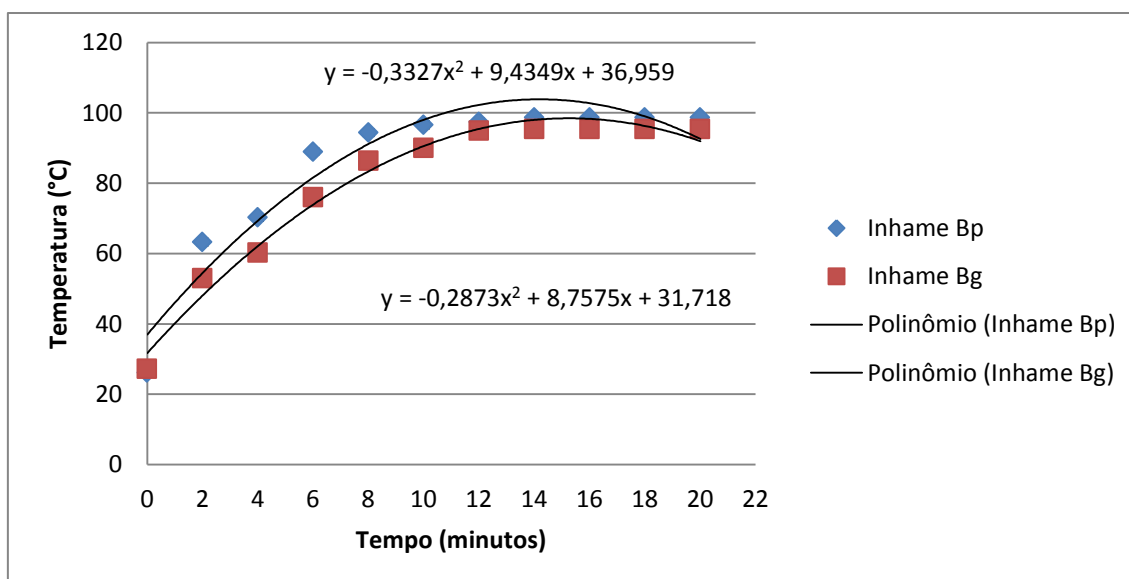


Figura 5 – Curvas de aquecimento das amostras da variedade do inhame B durante processamento térmico dos tamanhos pequeno (Bp) e grande (Bg).

4.3. TEXTURA INSTRUMENTAL

Observou-se nas Figuras 6 e 7 que houve um pico de máxima tensão, quando então houve ruptura dos tecidos dos tubérculos. As amostras de inhame Ap e Bp, apresentaram maior tensão de ruptura ($187,16 \pm 17,14$ kPa e $71,16 \pm 5,90$ kPa, respectivamente), porém menor deformação de ruptura ($0,19 \pm 0,19$ e $0,15 \pm 0,15$) com relação às mesmas amostras com tamanhos maiores. Assim, o tamanho da amostra selecionada interfere significativamente na textura.

Na Tabela 3 é possível observar que houve uma diferença muito significativa entre os valores das tensões de ruptura dos inhames das variedades A e B. Segundo Sajeev et al (2008), esse tipo de resultado de textura pode ser devido a organização celular e molecular e a composição físico-química dos tubérculos.

A textura dos vegetais depende do arranjo das células juntamente com os espaços intercelulares que compõem os tecidos, ou seja, da organização estrutural (NG; WALDRON, 2002). Damião Filho (1993) cita como exemplo dessa organização estrutural o tecido parenquimático, rico em substâncias de reserva, que possui variações no formato das células, geralmente poliédricas, possuindo apenas a parede celular primária.

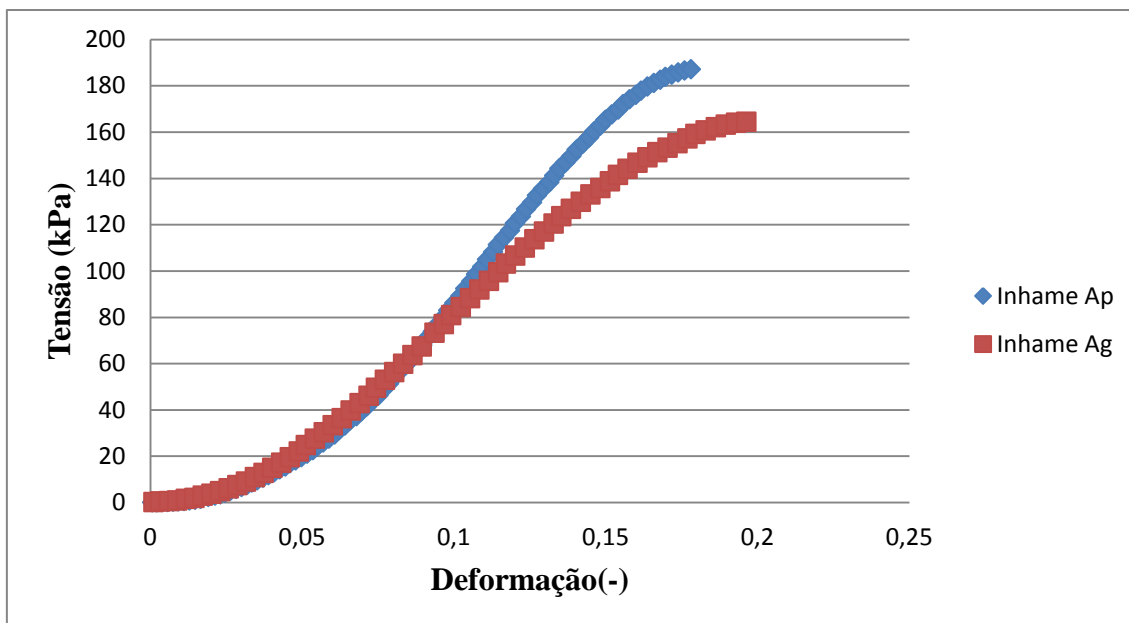


Figura 6 - Resultados da tensão de ruptura (kPa) versus deformação de ruptura do inhame A nos tamanhos pequeno (Ap) e grande (Ag).

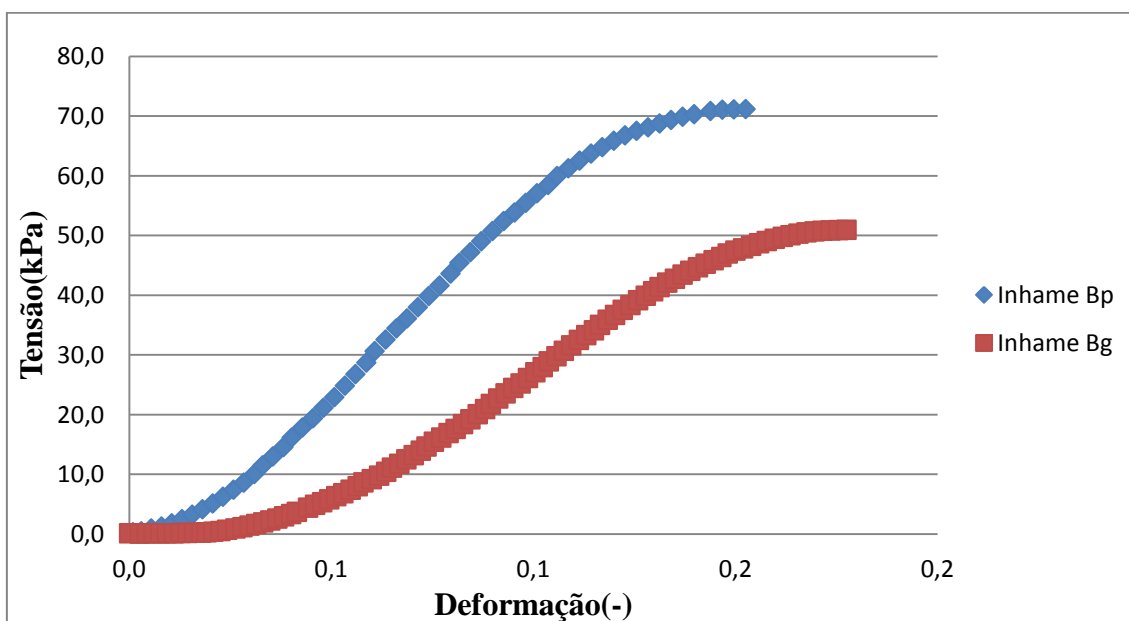


Figura 7 – Resultados da tensão de ruptura (kPa) versus deformação de ruptura do inhame B nos tamanhos pequeno (Bp) e grande (Bg).

Tabela 3. Propriedades mecânicas das variedades de inhame A nos tamanhos pequeno (Ap) e grande (Ag) e inhame B nos tamanhos pequeno (Bp) e grande (Bg).

Amostras	Propriedades mecânicas		
	σ (kPa)	ε^*	E (kPa)
Ap	187,16 \pm 17,14	0,19 \pm 0,19	1100,94
Ag	164,51 \pm 7,61	0,25 \pm 0,16	865,84
Bp	71,16 \pm 5,90	0,15 \pm 0,15	474,40
Bg	50,95 \pm 0,87	0,17 \pm 0,13	299,70

*Adimensional, σ =Tensão de ruptura, ε =Deformação de ruptura, E =Módulo de elasticidade.

4.4. REOLOGIA DAS FORMULAÇÕES DE LEITE FERMENTADO

O conhecimento das propriedades reológicas dos produtos lácteos é essencial. Certos produtos, quando submetidos à deformação, exibem tensão residual e amolecimento, aparentemente devido à quebra da estrutura. Entretanto a estrutura pode ser reconstituída com o tempo, quando o produto é levado à solidificação ou exibe um comportamento tixotrópico característicos de muitos produtos alimentícios (PRENTICE, 1992).

A partir dos dados de taxa de deformação e tensão apresentados na Figura 8, os parâmetros reológicos das formulações de leite fermentado foram ajustados pelo modelo da Lei da Potência.

As amostras F1, F2, F3 e F4 representadas na Figura 8 apresentaram comportamento de fluido não Newtoniano, nas curvas ascendentes e descendentes. A diferença entre as curvas ascendentes e descendentes da relação tensão/deformação é a medida da extensão da quebra estrutural causada pelo cisalhamento. Este comportamento é típico de fluido tixotrópico; e quanto maior a área sob a curva, maior o efeito tixotrópico (HOLDSWORTH, 1993). Esse comportamento também foi observado por Penna (2000), em bebidas lácteas fermentadas.

A tixotropia, segundo Schramm (2006), seria causada pela quebra da estrutura de uma dispersão sobre uma tensão. Portanto, partículas frágeis ou ligações fracas entre as partículas envolvidas podem ser quebradas quando submetidas a esta tensão (SHOEMAKER; FIGONI, 1984).

Observa-se na Tabela 4, que os valores de tixotropia das formulações adicionadas das duas variedades de inhames, F1 e F2, foram próximos, o que indica que

a variedade do inhame não interfere nesse parâmetro. É possível ainda observar que comparando a tixotropia da formulação F3, que não teve adição de nenhum tipo de espessante, com as formulações F1 e F2, ocorreu um aumento de 566,44% para o inhame A e 573,31% para o inhame B.

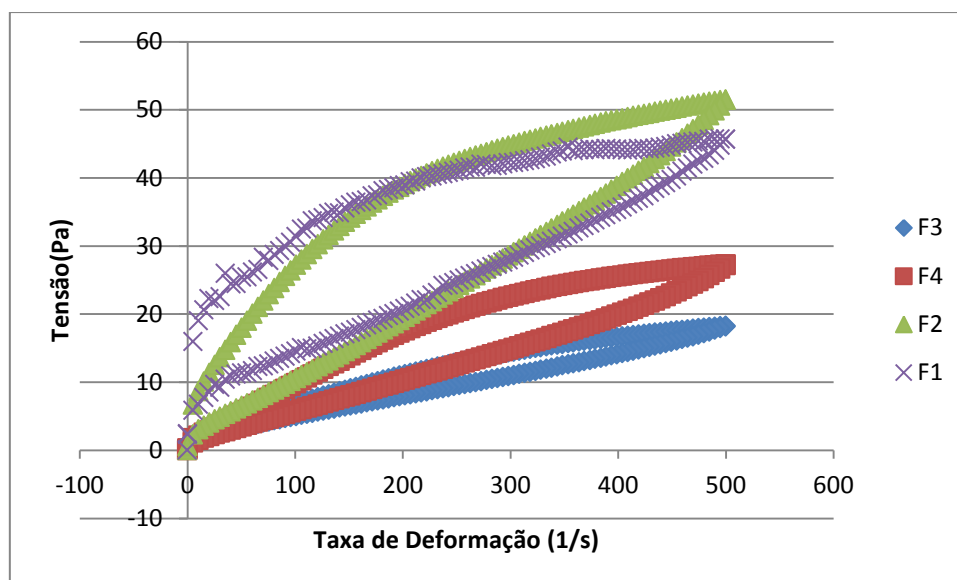


Figura 8 - Resultados de tixotropia pela diferença da área das curvas ascendentes e descendentes das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4).

Tabela 4. Valores de tixotropia observados no gráfico de tensão (Pa) por Taxa de deformação (1/s) das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4) e a porcentagem proporcional em comparação com a formulação padrão (F3).

Amostras	Tixotropia (Pa.s)	% Proporcional
F1	6531	566,44
F2	6616	573,81
F3	1153	100,00
F4	2564	223,38

Através da análise reológica foi possível verificar a natureza pseudoplástica das amostras de leite fermentado caprino.

Segundo Navarro (1997), através do modelo de Ostwald-de-Waele observa-se que a equação se reduz ao modelo de Newton quando o índice de comportamento do fluido $n = 1$. Como o índice de consistência (K) não varia com a tensão nem com a taxa

de deformação, é o índice n que fará a distinção entre os comportamentos dos fluidos e, desta maneira, quanto mais distante o n do fluido estiver do valor unitário, mais distante também o fluido estará do comportamento newtoniano. Esse comportamento foi observado em todas as formulações, independente de serem ou não adicionadas das variedades de inhame, com todos os valores de n menor que 1, caracterizando um fluido pseudoplástico.

Tabela 5. Valores dos parâmetros reológicos das amostras de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4) no modelo reológico de Oswald de Weale (Lei da Potência).

Parâmetros Reológicos				
Amostras	n^*	$K(\text{Pa.s})$	R^2	R^{2**}
F1	0,42	2,96	0,78	0,48
F2	0,66	0,80	0,88	0,83
F3	0,69	0,24	0,97	0,93
F4	0,78	0,21	0,94	0,92

*Adimensional,** R^2 referente ao modelo newtoniano, n =índice de escoamento, k = índice de consistência e R^2 = coeficiente de determinação.

Observaram-se, para as amostras adicionadas de inhame (Tabela 5), o valor de n de 0,42 e 0,66 para as formulações F1 e F2, respectivamente. Já para as amostras sem adição de inhame, verificou-se os valores de n de 0,69 e 0,78, respectivamente. Isto indica que a variedade de inhame A adicionado ao leite fermentado caprino (F1), torna o fluido mais pseudoplástico que a variedade de inhame B adicionado ao leite fermentado caprino (F2). É possível constatar o aumento da pseudoplastia nas formulações adicionadas de inhame ao se compararem os valores de n da formulação F3 com os valores de n das formulações F1 e F2.

O índice de consistência (K) (Tabela 5) apresentou para as amostras adicionadas de inhame os valores de 2,92 para a formulação F1 e 0,84 para F2, o que indica que a variedade de inhame A aumentou a consistência do produto.

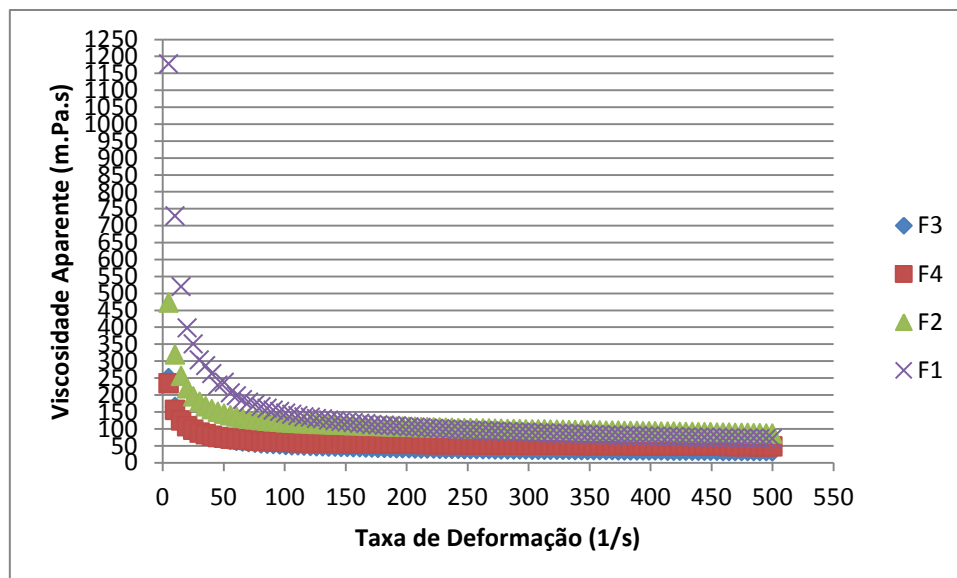


Figura 9 - Curva de viscosidade aparente (m.Pa.s) versus a taxa de deformação (1/s) das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4).

É possível observar na Figura 9 que a viscosidade aparente das amostras, diminuiu com o aumento da taxa de deformação, indicando comportamento de fluido não-Newtoniano. Estes resultados estão de acordo com estudos realizados por Penna, Sivieri e Oliveira (2001).

Os autores Butler e McNulty (1995), Penna et al. (2003) e Penna et al. (2006) também verificaram comportamento pseudoplástico em bebidas lácteas fermentadas, bebidas lácteas comerciais e bebidas lácteas com carragena, respectivamente.

A Figura 10 apresenta a taxa de escoamento segundo a taxa de deformação aplicada em um produto. É possível observar que a taxa de deformação para o derramar de uma garrafa fica entre 10 e 100 (1/s). Analisando na Figura 9 e os valores da taxa de deformação da Figura 10, observamos que a viscosidade aparente das formulações F1 e F2 estão próximas a 100 (m.Pa.s) para se derramar o leite fermentado da garrafa.

Situação	Taxa de deformação (s ⁻¹)	Aplicação
Calandrar	10 ¹ -10 ²	Estiramento do glúten
Derramar de uma garrafa	10 ¹ -10 ²	Alimentos, cosméticos, artigos de toalete
Cortar alimentos	10 ¹ -10 ²	Mastigar
Recobrimento por imersão	10 ¹ -10 ²	Tintas, confeitaria
Mistura e agitação	10 ¹ -10 ³	Processamento geral
Escoamento em tubos	10 ⁰ -10 ³	Processamento de alimentos
Esfregar	10 ² -10 ⁴	Aplicação de cremes
Escovar	10 ³ -10 ⁴	Descascar, raspar

Figura 10 – Taxas de escoamento

Observou-se na Figura 11 que as grandezas de tensão (Pa) e taxa de deformação(1/s) aplicadas nas formulações de leites fermentados (F1, F2, F3 e F4) são diretamente proporcionais, uma vez que quanto maior a tensão, maior será a taxa de deformação. Esse tipo de comportamento é observado em fluidos do tipo pseudoplásticos, onde se tem uma curva ascendente, caracterizando-os como não-Newtonianos.

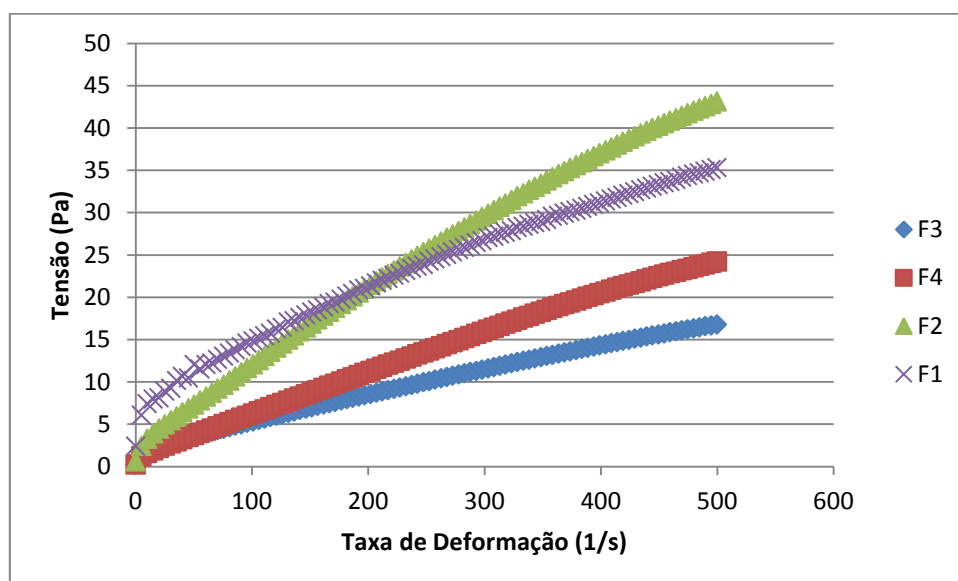


Figura 11 – Resultados tensão (Pa) versus a taxa de deformação (1/s) das formulações de leite fermentado caprino adicionado do inhame A (F1), adicionado do inhame B (F2), sem adição (F3), e adicionado de espessante (F4).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que houve pequena diferença na transferência de calor entre as duas variedades de inhame, pois ambas obtiveram resultados próximos de temperatura no centro das amostras.

Os resultados fornecidos pela análise de textura por compressão permitem concluir que a variedade de inhame B apresentou menor resistência à compressão, menores valores de elasticidade, sendo mais adequada para adição em formulações de leite fermentado caprino.

Quanto aos tamanhos dos paralelepípedos de inhame cortados, a análise dos resultados das amostras na mesma variedade, demonstrou que o maior tamanho de amostra é mais adequado para o uso na fabricação do leite fermentado caprino, pois houve menores tensões de ruptura.

Os leites fermentados caprinos apresentaram características de fluidos não newtonianos de acordo com os resultados das análises quanto à tensão e viscosidade aparente em função da deformação e presença de tixotropia.

As formulações adicionadas de inhame tiveram aumento no efeito da tixotropia, assim como a curva de viscosidade aparente apresentou um decréscimo conforme aumentou a tensão de cisalhamento caracterizando os fluidos como pseudoplásticos.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros que poderão tornar o desenvolvimento desse tipo de produto mais completo para o mercado:

- Caracterizar físico-química e microbiologicamente as variedades de inhames;
- Analisar por microscopia a estrutura fibrilar das variedades de inhame, pois estas podem afetar o processo;
- Caracterizar físico-química e microbiologicamente os leites fermentados caprinos adicionados de inhame;

REFERÊNCIAS

AMARAL, D. S.; AMARAL, D. S.; MOURA NETO, L. G. **Tendências de Consumo de Leite de Cabra: Enfoque para a melhoria da qualidade.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 6, n. 1, 2011.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**, USA, 18^a ed., 3^a Revision, Washington, 2010. 1094p.

AWADHWAL, N. K.; SINGH, C. P. **A rheological model for milk products.** Journal of Food Science, Chicago, v. 50, n. 6, p. 1611-1614, 1985.

BELTRÃO FILHO, E. M.; COSTA, R. G.; QUEIROGA, R. C. R. E.; MEDEIROS, A. N.; OLIVEIRA, C. J. B.; ROCHA, J. K. P.; SANTOS, J. G. **Avaliação higiênico sanitária do leite de cabra comercializado no estado da Paraíba**, Brasil. Universidade Federal da Paraíba. Revista Brasil Saúde Produção Animal, v.9, n.4, p. 672-679, out/dez, 2008.

BOURNE, M. C. **Relationship between Rheology and Food Textura.** In: Engineering and Food for the 21st Century. Ed. CRC Press, Boca Raton, 2002.

BRASIL. Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados.** Diário Oficial União Brasília, 2007.

CARR, L. G.; RODAS, M. A. B.; DELLA TORRE, J. C. M.; TADINI, C. C. **Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread.** Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, v. 39, 2006.

CASTRO, A. L., **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho.** Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais - Área de Interinidades em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo (USP), 2007.

CENACHI, D.B. **Desenvolvimento de leite de cabra fermentado prebiótico com baixo teor de lactose adicionado de β -ciclodextrina.** 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

COSTA, M. P.; BALTHAZAR, C. F.; PINTO, R. V. DE B., CRUZ, A. G., & CONTE JÚNIOR, C. A. **Leite fermentado: potencial alimento funcional.** Enciclopédia Biosfera, v. 9, n. 16, p. 1387–1408, 2013.

CRIVELARO, M. **Quem melhor combate a fome.** Disponível em: <<http://www.faculadmodulo.com.br/Default.asp?Codigo=13669&Secao=Imprensa&SubSecao=Artigos>>. Acesso em 15 out. 2009.

DUBEUF, J. P. **Structural , market and organizational conditions for developing goat dairy production systems.** Small Ruminant Res., Amsterdam, v. 60, p. 67-74, 2005.

EGAWA, E. Y., **Caracterização térmica e reológica de blendas de glicerol: colágeno tipo I de diferentes tecidos**. Tese de Mestrado em Ciência – Química Analítica, Instituto de Química de São Paulo, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2007

EISSA, E. A.; AHMED, I. M.; YAGOUB, A. E. A.; BABIKER, E. E. **Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of yoghurt produced from goat milk**. *Livestock Research for Rural Development*, v. 22, n. 8, 2010.

FERNANDES, P.A.; VILELA, S.V.; FILGUEIRAS, M.L.M.; OLIVEIRA, L.F.; OLIVEIRA, I.P. **Fatores que apontam a relevância do iogurte saborizado com inhame e poupa de umbu**. *Revista Faculdade Montes Belos*, v.7, p. 64-75, 2014.

FONSECA, E. W. N. **Utilização da mucilagem do inhame (dioscorea spp) como melhorador na produção de pão de forma**. 2006. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Produção de leite caprino**. Roma: FAO, 2011a.

GILLILAND, S. E. **Acidophilus milk products: a review of potential benefits to consumers**. *J. Dairy Sci*, v.72, p.2483-2494, 1989.

GUNASEKARAN S., MEHMET A.K.M., *Cheese texture. In: Cheese Rheology & Texture*. CRC Press, New York, NY, p. 299– 329. 2003

HAENLEIN, G. F. W. **Goat milk in human nutrition**. *Small Ruminant Research*, v. 51,n. 2, p. 155–163, 2004.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péptico das polpas integrais de araçá (Psidium cattleianum sabine) e amora-preta (Rubus spp)**. Tese de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos - Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2005.

HASSAN, A. N. et al. **Rheological properties of yogurt made with encapsulated nonropy lactic cultures**, *Journal Dairy Science*, v. 79, p. 2091-2097, 1996.

HATA, Y; REGUERO, M.T.; GARCÍA, L.A.; BUITRAGO, G.; ALVAREZ, A. **Evaluación del contenido de sapogeninas em variedades nativas de ñame (Dioscorea spp.) provenientes de la colección de La Universidad del Córdoba**. *Rev. Col. Ciênc. Quím. Farm.*, v.32, n.2, p.149-157, 2003.

HATTINGH, A. L.; VILJOEN, B. C. Yogurt as probiotic carrier food. *Int. Dairy J.*, v.11, p.1-17, 2001.

HEREDIA, M.C.V., BURBA, J.L., CASALI, V.M.D. In: **Seminário de Olericultura**, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 180 p.

HOLDSWORTH, S. D. **Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review.** Transaction of Institute of Chemical Engineering, London, v. 71, 1993.

HOU, W.R.; HSU, F.L.; LEE, M.H. **(Dioscorea batata) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro.** Planta Medical, v.68, 2002.

HUANG, C-H.; LIU, D-Z.; JAN, T-R. **Diogenin, a plant-derived sapogenin, enhances regulatory T-cell immunity in the intestine of mice with food allergy.** J. Nat. Prod., v.73, 2010.

JAN, T.R.; WEY, S.P.; KUAN, C.C.; LIAU, M.H.; WU, H.Y. **Diosgenin, a steroidal sapogenin, enhances antigen-specific IgG2a and interferon-gama expression in ovalbumin-sensitized BALB/c mice.** Planta Med., v.73, p.421-426, 2007.

JIN, M.; SUH, S-J.; YANG, J-H.; LU, Y.; KIM, S.J.; KWON, S.; JO, T.H.; KIM, J.W.; PARK, Y.I.; AHN, G.W.; LEE, C-H.; KIM, C-H.; SON, J-K.; CHANG, H.W. **Antiinflammatory activity of bark of Dioscorea batatas Decne through the inhibition of 123 iNOS and COX-2 expressions in RAW264.7 cells via NF- κ B and ERK1/2 inactivation.** Food Chem. Toxicol., v.48, p.3073-3079, 2010.

KIM, S. H.; LEE, S. Y.; PALANIVEL, G.; KWAK, H. S. **Effect of Dioscorea opposita thunb (yam) supplementation on physicochemical and sensory characteristics of yogurt.** J. Dairy Sci. v.94, p.1705–1712, 2011.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. **Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.22, 2002.

LIMA, J. A. **Potencialidades de Industrialização do Inhame e do Taro no Brasil.** In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE AS CULTURAS DO INHAME E DO TARO, João Pessoa: EMEPA-PB, 2002.

LIN, J-T. **Effects of domestic processing on steroidal saponins in taiwanese yam cultural (Dioscorea pseudojaponica Yamamoto).** J. Agric. Food Chem., v.54, 2006.

LIN, J-T. & YANG, D-J. **Determination of steroidal saponins in different ofrgans of yam (Dioscorea pseudojaponica Yamamoto).** Food Chem., v.108, 2008.

MANZANO, G.P.P. **Aspectos sensoriais e físico-químicos de “iogurtes” de soja com espessantes/estabilizantes à base de fécula de inhame (Dioscorea alata), amido modificado e gelatina.** Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição), Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2013.

MARTINS, E. C. et al. **O mercado e as potencialidades do leite de cabra na cidade de Sobral: a visão do consumidor.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, Fortaleza: EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL, 2007.

MATHIAS, T. R. S. et al . **Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais.** *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas , v. 16, n. 1, Mar. 2013 .

MCCLEMENTS, J. *Impact of electrostatic interactions on formation and stability of emulsions containing oil droplets coated by β -lactoglobulin-pectin complexes*. *Agric. Food Chem.*, v.55, p.475-485, 2007

MIAMOTO, J.B.M. **Obtenção e caracterização de biscoito tipo cookie elaborado com farinha de inhame (*Colocasia esculenta* L.)**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MICHAELIDOU, A. M. **Factors influencing nutritional and health profile of milk and milk products**. *Small Ruminant Res.*, v. 79, 2008.

MOLLICA, J.Q. **Potencial de *Dioscorea trifida* L.F. e *Dioscorea opposita* thunb. (dioscoreaceae, inhames) no tratamento da alergia alimentar induzida com ovalbumina em camundongos BALB**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos), Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

NG A.; HARVEY A. J.; PARKER M. L.; SMITH A. C.; WALDRON, K. W. Effect of oxidative coupling on the thermal stability of texture and cell wall chemistry of beet root (*Beta vulgaris*). **Journal Agricultural Food Chemistry**. v. 46, p. 3365–3370 , 2002.

OLIVEIRA, A. P.; NETO, P. A. F.; SANTOS, E. S. **Qualidade do inhame ‘Da Costa’ em função das épocas de colheita e da adubação orgânica**. *Revista de Horticultura Brasileira*, v.20, 2002.

PANDYA, A. J.; GHODKE, K. M. **Goat and sheep milk products other than cheeses and yoghurt**. *Small Ruminant Research*, v. 68, 2007.

PENNA, A. L. B.; OLIVEIRA, M. N.; TAMINE, A. Y. **Influence of carrageenan and total solids content on the rheological properties of lactic beverage made with yogurt and whey**. *Journal Texture Studies*. 2003; Malden, v. 34, n. 1, p. 95-113.

PENNA, A. L. B.; GURRAM, S.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Effect of high hydrostatic pressure processing on rheological and textural properties of probiotic low-fat yogurt fermented by different starter cultures. **Journal Food Process Engineering**. 2006; Texas, v. 29, n. 5, p. 447-461.

PRENTICE, J. H. **Dairy rheology: a concise guide**. New York: VCH, 1992.

RAO, M. S.; STEFFE, J. F. *Viscoelastic properties of foods*. Elsevier, London, 1992.

RIBEIRO, A. C.; RIBEIRO, S. D. A. **Specialty products made from goat milk**. *Small Ruminant Research*, v. 89, 2010.

RIBEIRO, J.E.S. **Elaboração de bebida fermentada funcional tipo iogurte utilizando leite de cabra e extrato hidrossolúvel de soja**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SACCARO, D. M. **Efeito da associação de culturas iniciadoras e probióticas na acidificação textura e viabilidade em leite fermentado.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SANTOS, B. M.; OLIVEIRA, M. E. G.; SOUSA, Y. R. F.; MADUREIRA, A. R. M. F. M.; PINTADO, M. M. E.; GOMES, A. M. P.; SOUZA, E. L.; QUEIROGA, R. C. R. E. **Caracterização físico-química e sensorial de queijo de coalho produzido com mistura de leite de cabra e de leite de vaca.** Revista do Instituto Adolfo Lutz, v.70, 2011.

SCHUMACHER, A. B. **Desenvolvimento de um chocolate meio amargo com maior percentual de proteína.** Tese de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2009.

SHAKER, R. R.; JUMAH, R. Y.; ABU-JDAYIL, B. **Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of Milk.** Journal of Food Engineering, 2000.

SHOEMAKER, C. F.; FIGONI, P. A.; **Time-dependent rheological behavior of foods.** Food Technology, Chicago, v. 38, 1984.

SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; SILVA, G. A.; AZEVEDO, S. S.; GOMES, T. L. S. **Caracterização dos Sistemas Produtivos de Leite de Cabra nos Cariris Paraibano.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 26, 2013.

SIVIERO, M.L., FERREIRA, V.L.P., VITTI, P. & SILVEIRA, E.T.F. **Processamento e uso de farinha de inhame (Colocasia esculenta L. Schott) em produtos de panificação.** Boletim do ITAL, Campinas, v. 21, 1984.

VIANA, A. D. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuaçu (theobroma grandiflorum) em diferentes concentrações e temperaturas.** Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2010.

VRIESMANN, L. C., *Polysaccharides from the pulp of cupuassu (Theobroma grandiflorum): structural characterization of a pectic fraction.* Carbohydrate Polymers, p. 2-4, 2008.

SZCZESNIAK, A. S. **Sensory texture profiling - historical and scientific perspectives.** Food Technology, v. 52, 1998.

YANG, D.J.; LU, T. J.; HWANG, L. S. **Isolation and identification of steroidal saponins in Taiwanese yam cultivar (Dioscorea pseudojaponica Yamamoto).** J. Agric. Food Chem., 2010.

ZARATE, N.A.H., CASALI, V.W.D., ALVAREZ V,V.H. & SILVA, J.F. **Curvas de crescimento vegetativo do inhame (Colocasia esculenta L. Schott), “chinês” e “macaquinho”, considerando cinco populações, cultivados em solo seco.** R. Cient. Cult., Campo Grande, v. 3, 1988.